

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**федеральное государственное автономное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**  
**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт – Физико-технический

Направление – Ядерные физика и технологии

Кафедра – Электроника и автоматика физических установок

Специальность – Электроника и автоматика физических установок

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА РАЗНОРОДНЫХ СРЕД</b>

УДК 621.365.62:519.876

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0701	Сонин К.В.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой ЭАФУ	Горюнов А.Г.	д-р техн. наук, доцент		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меньшикова Е.В.	канд. филос. наук, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Усов В.Ф.	канд. техн. наук		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭАФУ	Горюнов А.Г.	д-р техн. наук, доцент		

Томск – 2016 г.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
Р1	Представлять современную картину мира на основе целостной системы естественнонаучных и математических знаний, а также культурных ценностей; понимать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности, защите интересов личности, общества и государства; быть готовым к анализу социально-значимых процессов и явлений, применять основные положения и методы гуманитарных, социальных и экономических наук при организации работы в организации, к осуществлению воспитательной и образовательной деятельности в сфере публичной и частной жизни.
Р2	Обладать способностями: действовать в соответствии с Конституцией РФ, исполнять свой гражданский и профессиональный долг, руководствуясь принципами законности и патриотизма, правилами и положениями, установленные законами и другими нормативными правовыми актами; к логическому мышлению, обобщению, анализу, прогнозированию, постановке исследовательских задач и выбору путей их достижения; понимать основы национальной и военной безопасности РФ; работать в многонациональном коллективе; формировать цели команды, применять методы конструктивного разрешения конфликтных ситуаций; использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и научно-производственных работ.
Р3	Самостоятельно, методически правильно применять методы

	самостоятельного физического воспитания для повышения адаптационных резервов организма и укрепления здоровья, готовностью к достижению и поддержанию должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P4	Свободно владеть литературной и деловой письменной и устной речью на русском языке, навыками публичной и научной речи. Уметь создавать и редактировать тексты профессионального назначения, владеть одним из иностранных языков как средством делового общения.
P5	Находить организационно-управленческие решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; быть готовым к принятию ответственности за свои решения в рамках профессиональной компетенции, принимать решения в нестандартных условиях обстановки и организовывать его выполнение, самостоятельно действовать в пределах предоставленных прав; самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля для приобретения новых знаний и умений, в том числе в новых областях, непосредственно не связанных со сферой деятельности, развития социальных и профессиональных компетенций.
P6	Применять основные законы естественнонаучных дисциплин, математический аппарат, вычислительную технику, современные методы исследований процессов и объектов для формализации, анализа и выработки решения профессиональных задач.
<b><i>Профессиональные компетенции</i></b>	
P7	Уметь самостоятельно повышать уровень знаний в области профессиональной деятельности, приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической

	<p>деятельности новые знания и умения; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт, методы научно-исследовательской и практической деятельности, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; работать с информацией в глобальных компьютерных сетях; оценивать перспективы развития АСУ и АСНИ физических установок (вооружения и техники, процессов и аппаратов атомной промышленности и энергетики), использовать современные достижения в научно-исследовательских работах.</p>
P8	<p>Применять знания о процессах в ядерных энергетических и физических установках, и о технологических процессах ядерного топливного цикла используя методы математического моделирования отдельных стадий и всего процесса для разработки АСУ ТП и АСНИ с применением пакетов автоматизированного проектирования и исследований.</p>
P9	<p>Использовать знания о протекающих процессах в ядерных энергетических установках, аппаратах производств ядерного топливного цикла, теории и практики АСУ ТП, при проектировании, настройке, наладке, испытаниях и эксплуатации современного оборудования, информационного, организационного, математического и программного обеспечения, специальных технических средств, сооружений, объектов и их систем; организовать эксплуатацию физических установок (вооружения и техники, процессов и аппаратов атомной промышленности и энергетики), современного оборудования и приборов с учетом требований руководящих и нормативных документов; быть готовым к освоению новых образцов физических установок, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний.</p>

P10	Использовать технические средства и информационные технологии, проводить предварительное технико-экономического обоснования проектных расчетов устройств и узлов приборов и установок, расчет, концептуальную и проектную проработку программно-технических средств АСУ ТП и АСНИ, применять методы оптимизации, анализа вариантов, поиска решения многокритериальных задач с учетом неопределенностей объекта управления, разрабатывать способы применения программно-технических средств АСУ ТП и АСНИ, решать инженерно-физические и экономические задачи, применяя знания теории и практики АСУ, включающее математическое, информационное и техническое обеспечения, для проектирования, испытания, внедрения и эксплуатации АСУ ТП и АСНИ.
P11	Понимать сущность и значение информации в развитии современного общества, соблюдать основные требования безопасности и защиты государственной тайны; выполнять мероприятия по восстановлению работоспособности физических установок (вооружения и техники, процессов и аппаратов атомной промышленности и энергетики) при возникновении аварийных ситуаций, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения; проводить анализ и оценку обстановки для принятия решения в случае возникновения аварийных ситуаций, экологическую безопасность, нормы и правило производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности.
P12	Разрабатывать проекты нормативных и методических материалов, технических условий, стандартов и технических описаний средств АСУ ТП и АСНИ, регламентирующих работу в сфере профессиональной деятельности; осуществлять

	<p>разработку технического задания, расчет, проектную проработку современных устройств и узлов приборов, установок (образцов вооружения, программно-технических средств АСУ ТП и АСНИ), использовать знания методов анализа эколого-экономической эффективности при проектировании и реализации проектов.</p>
P13	<p>Использовать в профессиональной деятельности нормативные правовые акты в области защиты государственной тайны, интеллектуальной собственности, авторского права и в других областях; осуществлять поиск, изучение, обобщение и систематизацию научно-технической информации, нормативных и методических материалов в сфере своей профессиональной деятельности.</p>
P14	<p>Проявлять и активно применять способность к организации и управлению работой коллектива, в том числе: находить и принять управленческие решения в сфере профессиональной деятельности; разрабатывать планы работы коллективов; контролировать соблюдение технологической дисциплины, обслуживания, технического оснащения, размещения технологического оборудования; организовывать учет и сохранность физических установок (вооружения и техники), соблюдение требований безопасности при эксплуатации; использовать основные методы защиты персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий.</p>
P15	<p>Демонстрировать способность к осуществлению и анализу научно-исследовательских, технологических и пуско-наладочных работ, разработке планов и программ их проведения, включая ядерно-физические эксперименты, выбору методов и средств решения новых задач с применением</p>

	современных электронных устройств, представлению результатов исследований и формулированию практических рекомендаций их использования в формах научно-технических отчетов, обзоров, публикаций по результатам выполненных работ; выполнять полный объем работ, связанных с техническим обслуживанием физических установок с учетом требований руководящих и нормативных документов.
--	---

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт – Физико-технический  
Направление – Ядерные физика и технологии  
Кафедра – Электроника и автоматика физических установок  
Специальность – Электроника и автоматика физических установок

**УТВЕРЖДАЮ**  
Зав. кафедрой ЭАФУ ФТИ  
\_\_\_\_\_ А.Г. Горюнов  
«12» октября 2015 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

**В форме:**

Дипломной работы
------------------

**Студенту:**

Группа	ФИО
0701	Сонина К.В.

**Тема работы:**

<b>РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА РАЗНОРОДНЫХ СРЕД</b>
---

Утверждена приказом директора ФТИ	от 23.11.2015 № 9128/с
-----------------------------------	------------------------

Дата сдачи студентом выполненной работы	25 января 2016 г.
---	-------------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Объект исследования математическая модель процесса индукционного нагрева. Требования: <ul style="list-style-type: none"><li>– Математическая модель должна позволять рассчитывать распределение напряженности магнитного поля по радиусу загрузки;</li><li>– Математическая модель должна позволять рассчитывать распределение тепловыделения по радиусу загрузки;</li><li>– Ошибка моделирования должна составлять не более 10%;</li><li>– Математическая модель должна позволять рассчитывать распределения напряженности магнитного поля и тепловыделение по радиусу загрузки при</li></ul>
---------------------------------	---



	изменении частоты сигнала; — Математическая модель должна позволять рассчитывать распределения напряженности магнитного поля и тепловыделение по радиусу загрузки при изменении электрофизических свойств загрузки
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	— аналитический обзор по литературным источникам; — постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; — разработка математической модели; — реализация математической модели в Matlab; — экспериментальная часть; — социальная ответственность; — финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; — заключение по работе.
<b>Перечень графического материала</b>	Блок-схема алгоритма моделирования
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	доцент, канд. филос. наук Меньшикова Е.В.
Социальная ответственность	доцент, канд. техн. наук Усов В.Ф.

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	12 октября 2015 г.
---	--------------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. Кафедрой ЭАФУ	Горюнов А.Г.	д-р техн. наук, доцент		12.10.15

**Задание принял к исполнению студент**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0701	Сонин К.В.		12.10.15

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 150 с., 44 рис., 12 табл., 23 источников, 4 прил.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ, ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЕ, СИСТЕМА ИНДУКТОР-ЗАГРУЗКА, ИНДУКЦИОННЫЙ НАГРЕВ, НАПРЯЖЕННОСТЬ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, УДЕЛЬНАЯ ПОВЕРХНОСТНАЯ МОЩНОСТЬ, СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ

Объектом исследования является моделирование процесса индукционного нагрева.

Цель работы – разработка математической модели процесса индукционного нагрева разнородных сред, позволяющей исследовать распределение тепловыделения по радиусу загрузки.

В процессе исследования проводились разработка компьютерной модели в программном комплексе Matlab, обеспечивающей расчет процессов, происходящих при индукционном нагреве, с заданной точностью.

В результате исследования была получена работоспособная математическая модель, которую можно использовать для дальнейших исследований.

Область применения: химическая промышленность.

Экономическая эффективность/значимость работы заключается в снижении затрат при использовании результатов исследований.

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В данной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда. Шум.  
Общие требования безопасности

ГОСТ 12.2.032–78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее  
место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования

ГОСТ 12.2.049–80 Система стандартов безопасности труда.  
Оборудование производственное. Общие эргономические требования

ГОСТ Р ИСО 26000–2012 Руководство по социальной ответственности

В данной работе применены следующие термины с соответствующими  
определениями:

**загрузка:** Нагреваемое проводящее тело.

В данной работе применены следующие обозначения и сокращения:

система индуктор-загрузка; система И-З.

однородное дифференциальное уравнение; ОДУ.

уравнение в частных производных; УЧП.

электромагнитное поле; ЭМП.

# 1 ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	12
1 Аналитический обзор .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.1 Обзор источников .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.2 Устройство и классификация устройств индукционного нагрева	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.3 Основные положения теории индукционного нагрева.....	<b>Ошибка!</b> <b>Закладка не определена.</b>
1.4 Особенности изменения электрофизических свойств загрузки	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.5 Анализ математических моделей.	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2 Разработка математической модели	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.1 Цель моделирования.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.2 Требования, предъявляемые к модели .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.3 Принятые допущения .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.4 Методика подготовки данных .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.5 Получение системы взаимосвязанных дифференциальных уравнений	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3 Реализация математической модели в Matlab .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.1 Моделирование с использованием численных методов.....	<b>Ошибка!</b> <b>Закладка не определена.</b>
3.2 Использование для моделирования программных средств.....	<b>Ошибка!</b> <b>Закладка не определена.</b>
3.3 Моделирование процессов в среде Matlab .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
3.4 Подтверждение адекватности полученной модели	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>

- 4 Экспериментальная часть ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 4.1 Ход дальнейших исследований .... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 4.2 Применение загрузки первого вида для проведения экспериментов  
**Ошибка! Закладка не определена.**
- 4.3 Применение загрузки второго вида для проведения экспериментов  
**Ошибка! Закладка не определена.**
- 4.4 Применение загрузки третьего вида для проведения экспериментов  
**Ошибка! Закладка не определена.**
- 5 Социальная ответственность ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.1 Введение ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.2 Характеристика вредных и опасных факторов, имеющих место в лаборатории ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.3 Электробезопасность ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.4 Требования безопасности при работе видеотерминалов и ПЭВМ  
**Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.4.1 Эргономика и организация рабочего места .... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.4.2 ..... Мероприятия по выполнению норм естественного и искусственного освещения ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.4.3 Мероприятия по борьбе с производственным шумом ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.4.4 Мероприятия по радиационной безопасности **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.4.5 Мероприятия по выполнению норм вентиляции и отопления  
**Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.4. Мероприятия по пожарной безопасности ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.4.7 Мероприятия по охране окружающей природной среды ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
- 5.4. Выводы по разделу ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..... **Ошибка! Закладка не определена.**

6.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения..... 18

6.2 SWOT-анализ ..... 19

6.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации ..... 21

6.4 Инициация проекта..... 23

6.5 План проекта ..... 25

6.6 Бюджет научного исследования..... 27

6.7 Оценка сравнительной эффективности исследования..... 31

Список использованных источников **Ошибка! Закладка не определена.**

ПРИЛОЖЕНИЕ А (обязательное) Блок-схема этапов моделирования

**Ошибка! Закладка не определена.**

ПРИЛОЖЕНИЕ Б (обязательное) Алгоритм моделирования..... **Ошибка!**

**Закладка не определена.**

ПРИЛОЖЕНИЕ В (обязательное) Алгоритм функции  $P_{деп}$ ..... **Ошибка!**

**Закладка не определена.**

ПРИЛОЖЕНИЕ В (обязательное)..... **Ошибка! Закладка не определена.**

Слайд 1. Титульный лист ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

Слайд 2. Актуальность ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

Слайд 3. Цель работы ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

Слайд 4. Состав системы индукционного нагрева. **Ошибка! Закладка не определена.**

Слайд 5. Принятые допущения ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

Слайд 6. Математическое описание физических процессов..... **Ошибка!**  
**Закладка не определена.**

Слайд 7. Блок-схема этапов моделирования..... **Ошибка! Закладка не определена.**

Слайд 8. Моделирование взаимосвязанных электромагнитного и теплового процессов при помощи функции Matlab Pdepe **Ошибка! Закладка не определена.**

Слайд 9. Исходные данные для проверки адекватности ..... **Ошибка!**

**Закладка не определена.**

Слайд 10. Проверка адекватности..... **Ошибка! Закладка не определена.**

Слайд 11. Эксперимент №1 ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

Слайд 12. Эксперимент №2 ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

Слайд 13. Результаты работы ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

## ВВЕДЕНИЕ

Индукционный нагрев широко применяется в различных технологических процессах и обладает такими преимуществами, как высокая концентрация энергии в нагреваемом материале, бесконтактность нагрева, надежность работы, удобство регулирования и автоматизации, хорошие условия труда и отсутствие загрязнения окружающей среды. Однако проведение экспериментальных исследований на физических моделях не всегда осуществимы вследствие сложности, дороговизны и опасности экспериментов.

Актуальность работы обусловлена:

- сложностью проведения физических экспериментов;
- сложностью измерения параметров при исследовании процесса индукционного нагрева на физических моделях;
- сложностью проведения экспериментов в большом диапазоне изменения технологических параметров;
- обеспечением безопасных исследований по сравнению с физическими экспериментами.

Решение указанных проблем достигается путем математического моделирования, что показывает его актуальность.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка математической модели процесса индукционного нагрева разнородных сред, позволяющей исследовать распределение тепловыделения по радиусу загрузки.

Исходя из цели, в ходе разработки математической модели будут решаться следующие задачи:

- аналитический обзор по теме исследований;
- подготовка данных и математического описания процессов в аналитическом виде для дальнейшего использования их в компьютерной модели;
- компьютерное моделирование взаимосвязанных электромагнитного и теплового процессов, протекающих в загрузке;



- проверка адекватности модели;
- проведение исследований индукционного нагрева разнородных сред.

Объектом исследования является процесс индукционного нагрева. Предметом исследования математическая модель процесса индукционного нагрева среды.

В разделе «Аналитический обзор» были изучены источники, содержащие теоретические основы электродинамики, термодинамики, индукционного нагрева и способы реализации моделей индукционного нагрева. Также выбран тип системы, в которой происходит процесс индукционного нагрева, рассмотрена теория и процессы, протекающие при индукционном нагреве тела.

В разделе «Разработка математической модели» приведены допущения для моделирования, описание математической модели и методика расчётов.

В разделе «Реализация математической модели в Matlab» рассмотрены вопросы численного моделирования, применения пакета программ Matlab для моделирования и подтверждения адекватности полученной модели.

В разделе «Экспериментальная часть» представлена серия экспериментов по индукционному нагреву сред разного состава.

## **Обзор литературы**

В рамках литературного обзора были исследованы работы [1, 2, 3, 4, 6, 7] с описанием теории индукционного нагрева; в [11, 18] представлены основы термодинамики; источники [5, 8, 9, 10, 13], в которых были предложены различные математические модели процессов и устройств индукционного нагрева; в [14,15] рассмотрены вопросы численного моделирования; [16, 17] официальные сайты разработчиков пакета программ Matlab; справочники [19, 20]; патент [21], в котором были использованы установки индукционного нагрева.

# **1 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

## **1.1 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Поскольку рынок и технологии находятся в постоянном движении и развитии, необходимо проводить детальный анализ конкурирующих разработок. Данный анализ позволит внести коррективы в развитие научного исследования, а также даст оценку сильным и слабым сторонам всем конкурентным разработкам.

Анализ конкурентных технических решений проводится с помощью оценочной карты, приведённой в таблице 1.

Исходя из таблицы 1 можно сказать, что наиболее значимыми критериями являются достоверность данных, гибкость системы и ресурсосбережение при проведении эксперимента. Предлагаемая разработка математической модели позволит экономить время (ориентировочно 2 часа компьютерного моделирования против 10 часов реального эксперимента, в которых не учтено время на подготовку промышленных аппаратов), исходные материалы, а также позволяет правильно использовать реальную установку тем самым уменьшая затраты на обслуживание установки. Другими не менее важными критериями являются безопасность, длительность проведения эксперимента и возможность проведения эксперимента в предельных режимах работы, что в свою очередь также даёт преимущество разрабатываемой математической модели.

Таблица 1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Бф	Бк1	Кф	Кк1
1. Достоверность полученных данных	20 %	5	5	1	1,25
2. Длительность проведения эксперимента	10 %	3	2	0,3	0,2
3. Ресурсоэффективность	20 %	5	1	1	0,2
4. Безопасность	10 %	5	3	0,5	0,3
5. Гибкость системы	15 %	4	2	0,6	0,3
6. Простота использования	7 %	4	2	0,28	0,14
7. Уровень шума	2,5 %	4	3	0,1	0,075
8. Предполагаемый срок эксплуатации	2,5 %	3	3	0,075	0,075
9. Проведение эксперимента в предельных режимах работы	10 %	4	2	0,4	0,2
10. Обслуживание при эксплуатации	2,5 %	5	3	0,125	0,075
Итого	100%	42	26	4,38	2,815

## 1.2 SWOT-анализ

Для объективного оценивания конкурентоспособности и перспектив развития разработки необходимо проанализировать сильные и слабые стороны, а также угрозы и возможности, которые могут повлиять на разработку. SWOT-

анализ позволит сформировать направление для повышения конкурентоспособности научной разработки.

Для составления итоговой матрицы SWOT-анализа необходимо определить сильные и слабые стороны проекта, угрозы и возможности проекта, а также взаимную корреляцию между ними.

Сильными сторонами разрабатываемого проекта являются замещение реального эксперимента на численное моделирование, быстрота расчета, гибкость системы, экономия значительного количества ресурсов, а также безопасность.

Слабыми сторонами проекта являются ограниченная точность получения данных, по сравнению с реальными экспериментальными данными, а также трудность учёта всех факторов, действующих в процессе реального эксперимента.

Возможностью проекта является применение данной технологии в других сферах деятельности (нефтепромышленность, химическое производство и т.п.) и, соответственно, с помощью разрабатываемой математической модели можно будет моделировать процессы в этих сферах.

Угрозой данному проекту является изменение технологии нагрева или разработка принципиально новой технологии, в которой применяются другие физические принципы, что приведет к снижению актуальности разрабатываемой математической модели.

Корреляция между сильными и слабыми сторонами проекта с возможностями и угрозами отображена в итоговой матрице SWOT-анализа, приведённой в таблице 2.

Как видно, угрозы и возможности данного проекта тесно коррелируют со всеми сильными и слабыми сторонами проекта, поскольку данная разработка имеет узкую направленность.

Таблица 2 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны проекта: С1. Замещение эксперимента численным моделированием.	Слабые стороны проекта: Сл1. Достоверность полученных данных. Сл2. Трудность учёта всех физических процессов
	С2. Быстрота расчета. С3. Гибкость системы. С4. Экономия ресурсов. С5. Безопасность	
Возможности проекта: В1. Другие сферы.	В1С1С2С3С4С5	В1Сл1Сл2
Угрозы проекта: У1. Изменение технологии.	У1С1С2С3С4С5	У1Сл1Сл2

### 1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На любой стадии жизненного цикла проекта полезно оценивать степень его готовности к коммерциализации. Для этого необходимо оценить степень проработанности научного проекта и уровень имеющихся знаний у разработчика (таблица 3).

Исходя из оценок степени готовности проекта к коммерциализации видно, что проект имеет среднюю степень готовности. По вопросам маркетинговых исследований, финансирования коммерциализации, необходимо привлечение в команду проекта специалистов из данных областей.

Таблица 3 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
Определен имеющийся научно-технический задел	5	4
Определены перспективные направления коммерциализации задела	4	4
Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
Определена товарная форма задела для представления на рынок	2	2
Определены авторы и осуществлена охрана их прав	2	4
Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	1
Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	1	1
Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	4
Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	3

Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	3	3
Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	1
Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
Проработан механизм реализации научного проекта	4	4
<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	<b>39</b>	<b>38</b>

#### **1.4 Инициация проекта**

Инициация проекта состоит из процессов, которые выполняются для нового проекта или новой стадии проекта. Для этого определяются начальные цели, содержание, фиксируются ресурсы. Также определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта.

Заинтересованные стороны проекта отображены в таблице 4.

В таблице 5 представлена информация о целях проекта, критериях достижения целей, а также требования к результатам проекта.



Таблица 4 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
НИ ТПУ, кафедра ЭАФУ	Получение математической модели процесса индукционного нагрева для применения в дальнейших исследованиях

Таблица 5 – Цели и результаты проекта

Цели проекта	Моделирование процесса индукционного нагрева разнородных сред
Ожидаемые результаты проекта	Получение адекватной математической модели; Проведение серии экспериментов;
Критерии приемки результата проекта	Адекватность математической модели процесса разделения
Требования к результату проекта	Получение компьютерной математической модели процесса индукционного нагрева

Рабочая группа проекта отображена в таблице 6.

Таблица 6 – Рабочая группа проекта

ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час
Горюнов А.Г., НИ ТПУ, кафедра ЭАФУ, доцент	Научный руководитель	Консультирование, контроль выполнения поставленных задач, организационные мероприятия	416

Сонин К.В., НИ ТПУ, кафедра ЭАФУ, студент	дипломник	Анализ литературных источников, моделирование, проведение экспериментов	
---	-----------	--	--

## 1.5 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта, который может быть представлен в виде линейного графика или диаграммы Ганта.

Линейный график представлен в таблице 7.

Таблица 7 – Календарный план проекта

Код работ ы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление технического задания	4	06.06.15	09.06.15	Горюнов А.Г.
2	Изучение литературы	44	10.06.15	23.07.15	Сонин К.В.
3	Анализ физических процессов	10	24.07.15	02.08.15	Сонин К.В.
4	Математическое описание	23	03.08.15	25.08.15	Сонин К.В.
5	Разработка модели в Matlab	21	26.08.15	15.09.15	Сонин К.В.





механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. В эту статью следует отнести персональный компьютер, который использовался непосредственно как средство разработки. При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15 % от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного научного проекта и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в виде амортизационных отчислений.

Для расчета амортизационных отчислений был выбран срок полезного использования  $n$  равный 5 лет. Тогда норма амортизации  $a$  равна:

$$a = \frac{100\%}{n_{лет}} = \frac{100}{5} = 20\%; \quad (1.4)$$

Зная норму амортизации можно найти годовую сумму амортизации для машин и оборудования  $A$ :

$$A = \frac{15 * 20\%}{100\%} = 3 \text{ тыс.руб}; \quad (1.5)$$

Поэтому общая стоимость оборудования будет складываться из суммы цены оборудования, затрат на доставку и монтаж и нормы амортизации. Расчеты по данной статье приведены в Таблица 9.

Таблица 9 – Затраты на специальное оборудование для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Общая стоимость оборудования, тыс.руб.
1.	ноутбук ASUS X200M	1	15	20,25

Следующей статьёй в **Ошибка! Источник ссылки не найден.** является основная заработная плата. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей

системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы.

Основная заработная плата руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

- оклад;
- стимулирующие выплаты;
- районный коэффициент.

Сначала рассчитывается месячный должностной оклад работника  $Z_m$ :

$$Z_m = Z_b \cdot (k_{пр} + k_d) \cdot k_p = 34595,56 \cdot 1,2 \cdot 1,3 = 53969 \text{ руб}; \quad (1.6)$$

где  $k_{пр}$  – премиальный коэффициент;

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок;

$k_p$  – районный коэффициент.

Затем рассчитывается среднедневная заработная плата  $Z_{дн}$ :

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} = \frac{53969 \cdot 10,4}{199} = 2820,5 \text{ руб}; \quad (1.7)$$

где  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала

В результате основная заработная плата руководителя  $Z_{осн}$ :

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб} = 2820,5 \cdot 52 = 146665,7 \text{ руб}; \quad (1.8)$$

Расчетные данные основной заработной платы приведены в Таблица 10.

Таблица 10 – Расчёт основной заработной платы

Исполнитель	$Z_b$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	34595,56	1,2	0	1,3	53969	2820,5	52	146665,7

Дополнительная заработная плата  $Z_{\text{доп}}$  рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 1,15 \cdot 146665,7 = 22000 \text{ руб}; \quad (1.9)$$

Отчисления во внебюджетные фонды рассчитываются:

$$\begin{aligned} C_{\text{внеб}} &= k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = \\ &= 0,1 \cdot (146665,7 + 22000) = 16866,57 \text{ руб}; \end{aligned} \quad (1.10)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды

Научных и производственных командировок не было, поэтому затрат по данной статье не было.

В ходе разработки модели сторонние организации не участвовали в процессе разработки, поэтому по данной статье затраты также равны нулю.

Следующая статья, отвечающая за прочие прямые расходы, включает в себя затраты:

$$\begin{aligned} C_{\text{проч}} &= k_{\text{проч}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = \\ &= 0,1 \cdot (146665,7 + 22000) = 16866,57 \text{ руб}; \end{aligned} \quad (1.11)$$

где  $k_{\text{проч}}$  – коэффициент прочих расходов.

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$\begin{aligned} C_{\text{накл}} &= k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = \\ &= 0,8 \cdot (146665,7 + 22000) = 134932,56 \text{ руб}; \end{aligned} \quad (1.12)$$

## 1.7 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности  $I_{\Phi}^P$  и ресурсоэффективности  $I_m^P$ .

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают  $I_{\Phi}^P$  в ходе оценки бюджета затрат для вариантов исполнения научного исследования. Для разрабатываемой математической модели затратами на разработку модели, или 357749,4 рублей. В качестве аналога выступает непромышленная индукционная установка, её рыночная цена составляет 100000 рублей. Из этого следует, что затраты на разрабатываемую модель будут являться наибольшим интегральным показателем реализации технической задачи  $\Phi_{\max}$ .

Интегральный финансовый показатель разработки  $I_{\Phi}^P$  определяется:

$$I_{\Phi}^P = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} = \frac{357749,4}{357749,4} = 1. \quad (1.13)$$

Интегральный финансовый показатель аналога  $I_{\Phi}^a$ :

$$I_{\Phi}^P = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\max}} = \frac{100000}{357749,4} = 0,28. \quad (1.14)$$

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проводится с помощью Таблица 11.



Таблица 11 Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерий	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,15	5	3
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	2
3. Помехоустойчивость	0,05	3	4
4. Энергосбережение	0,2	5	2
5. Надежность	0,2	4	4
6. Материалоемкость	0,25	5	3
ИТОГО	1	26	18

Интегральный показатель ресурсоэффективности  $I_m^p$  текущего проекта определяется следующим образом:

$$I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p = 4,55, \quad (1.15)$$

где  $a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го параметра;

$b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го параметра для разработки;

$n$  – число параметров сравнения.

Интегральный показатель ресурсоэффективности  $I_m^a$  аналога:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a = 2,9, \quad (1.16)$$

где  $b_i^a$  – бальная оценка  $i$ -го параметра для аналога.

Интегральный показатель эффективности разработки  $I_{\text{финр}}^p$  определяется так:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p} = \frac{4,55}{1} = 4,55. \quad (1.17)$$

Интегральный показатель эффективности аналога  $I_{\text{финр}}^a$  определяется по формуле:

$$I_{\text{финр}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\phi}^a} = \frac{2,9}{0,28} = 10,35. \quad (1.18)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта  $I_{\text{финр}}^p$  и аналога  $I_{\text{финр}}^a$  позволяет определить сравнительную эффективность проекта  $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ :

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a} = \frac{4,55}{10,35} = 0,44. \quad (1.19)$$

Результаты расчётов сравнительной эффективности проекта приведены в Таблица 12

Таблица 12 – Сравнительная эффективность проекта

№ п/п	Показатели	Аналог	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,28	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	2,9	4,55
3	Интегральный показатель эффективности	10,35	4,55
4	Сравнительная эффективность проекта	0,44	